

УДК 621.311

DOI: 10.17277/voprosy.2018.02.pp.009-018

### ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ РАЗНЫХ ТИПОВ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

**А. А. Геворгян, О. С. Авагян**

*Национальный политехнический университет Армении (НПУА),  
г. Ереван, Республика Армения*

*Рецензент д-р техн. наук, профессор Н. С. Попов*

**Ключевые слова:** критерии оценки; многокритериальная теория значений (MAVT); окружающая среда; уровень выбросов; электростанции.

**Аннотация:** Исследовано экологическое воздействие атомных, тепловых (работающих на угле и природном газе) и гидроэлектростанций на окружающую среду. Используются основные принципы методов многокритериального принятия решений, в частности, функция одного атрибута и критерии оценок.

### Введение

Атомные (АЭС), тепловые (ТЭС) и гидроэлектростанции (ГЭС) являются крупными энергетическими объектами. Сооружение и эксплуатация таких объектов имеет крупномасштабное воздействие на окружающую среду и качество жизни людей. Для обеспечения защиты окружающей среды в условиях устойчивого развития и уменьшения неблагоприятного воздействия от производства электроэнергии необходимо, при выборе генерирующих мощностей, учитывать воздействие разных типов электростанций на окружающую среду. Для оценки экологического воздействия АЭС, ТЭС (угольных и газовых) и ГЭС, прежде всего, необходимо понимать, – какие факторы оказывают наибольшее влияние на окружающую среду. Для реализации исследования и оценки влияния разных типов электростанций на экологию природы предлагается воспользоваться ос-

---

Геворгян Арам Ашикович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Защита окружающей среды», e-mail: a.gevorgyan@polytechnic.am; Авагян Овсеп Сосикович – аспирант кафедры «Защита окружающей среды», Национальный политехнический университет Армении (НПУА), г. Ереван, Республика Армения.

новными принципами методов многокритериального принятия решений (MCDA) [1].

Существуют множество методов многокритериального принятия решений, которые дают возможность проводить сравнительную оценку разных систем. В таких методах в первую очередь необходимо выбрать критерии оценки для последующего построения таблицы эффективности. Далее каждому критерию даются числовые значения, которые показывают относительную важность каждого из них и являются их весовыми коэффициентами. Оценка и объяснение весовых коэффициентов критериев полностью зависит от направленности развития рассматриваемой страны и лиц, принимающих решение. С их стороны для принятия решений основой являются особенности и требования данной страны.

### Использование метода многокритериального принятия решений

Одним из методов семейства многокритериального принятия решений является многокритериальная теория значений (MAVT), в основе которого лежит функция одного атрибута, объединяющая затраты, риски, преимущества и другие критерии оценки, учитывая мнения экспертов и предпочтения лиц, принимающих решения. В рамках MAVT одно атрибутное значение оценивается для каждого критерия, который преобразует различные значения критериев в единую универсальную, безразмерную шкалу, например от 0 до 1, отражающую суждения экспертов по тематике и лиц, принимающих решения. Все критерии оцениваются по эффективности и важности. Значение каждого критерия нужно умножить на соответствующие значения их весовых коэффициентов [2].

По теореме Р. Кини, если условия независимости по полезности и предпочтению выполнены, то функция полезности является аддитивной

$$U(x) = \sum_{i=1}^n w_i U_i(x) \quad \text{при} \quad \sum_{i=1}^n w_i = 1$$

либо мультипликативной

$$1 + kU(x) = \prod_{i=1}^n [1 + kw_i U_i(x)] \quad \text{при} \quad \sum_{i=1}^n w_i \neq 1,$$

где  $U$ ,  $U_i$  – функции полезности, изменяющиеся от 0 до 1;  $w_i$  – коэффициенты важности (веса) критериев, причем  $0 < w_i < 1$ ; коэффициент  $k > -1$ .

Таким образом, многокритериальную функцию полезности можно определить, если известны значения коэффициентов  $w_i$ ,  $k$ , а также однокритериальные функции полезности  $U(x)$  [3].

Многокритериальная теория полезности позволяет получить значения в интервальной шкале. Подчеркнем положительные стороны подхода MAVT. Прежде всего, это стройная математическая теория, позволяющая обосновать конкретный вид общей функции полезности в зависимости от предпочтений лиц, принимающих решение. Несмотря на то что построение общей функции полезности требует достаточно много времени и усилий, полученный результат позволяет оценить любые альтернативы [3].

## Выбор критериев оценки экологического воздействия разных типов электростанций

Для большинства развивающихся стран основной задачей в стадии энергетического планирования является определение количества потребляемой электроэнергии и решение задач по закрытию спроса путем выработки или импорта. Для определения наиболее подходящего варианта развития энергетики, с точки зрения воздействия на окружающую среду, для развивающихся стран предлагается воспользоваться анализом энергетического развития, основываясь на методах многокритериального принятия решения. Учитывая основное требование данных методов многокритериального принятия решений, в первую очередь необходимо выбрать критерии оценки рассматриваемых вариантов. Существует множество технико-экономических критериев, которые можно использовать во время применения методов многокритериального принятия решений. Со стороны МАГАТЭ в разные годы [5, 6] представлено множество критериев для оценки путей развития энергетической системы стран, которые сгруппированы по следующим сферам: макро- и социальная экономика, энергетика и электроэнергетика, атомная энергетика и защита окружающей среды.

Несмотря на то что со стороны МАГАТЭ предложен широкий спектр критериев, для развивающихся стран необходимо воспользоваться некоторыми, специфическими для рассматриваемой страны, дополнительными критериями. Они предусмотрены для помощи лицам, принимающим решения, в целях выполнения более глубокого и детального анализа для получения наиболее оптимального и правильного решения.

Для оценки экологического воздействия АЭС, ТЭС (угольных и газовых) и ГЭС на окружающую среду предлагаются критерии, которые рассмотрены ниже. Для дальнейшего составления таблицы эффективности, каждому из критериев будет даваться сокращенное название  $K_i$ , где  $i = 1, \dots, n$ ,  $n$  – число критериев оценки.

1. *Интенсивность выбросов  $\text{CO}_2$  от производства энергии  $K_1$ , г- $\text{CO}_2$ /(кВт·ч).* Данный показатель важен для устойчивого развития энергетики, так как показывает количество  $\text{CO}_2$ , выделяемого на единицу выработанной электроэнергии. Сокращение выбросов углерода в энергетическом секторе является одним из основных требований по борьбе с изменением климата. Выработка электроэнергии – основной источник выбросов парниковых газов (ПГ), которые составили примерно 48 % от общего объема выбросов  $\text{CO}_2$  в мире в 2011 году [4]. Основная часть мировой электроэнергии вырабатывается путем сжигания ископаемого топлива, что приводит к выбросам  $\text{CO}_2$ . Стоит отметить, что уголь выделяет больше  $\text{CO}_2$ , чем нефть; нефть в свою очередь выделяет больше, чем природный газ (метан) на единицу производимой энергии. Ядерная энергетика, гидроэнергетика и возобновляемые источники энергии практически не имеют прямых выбросов  $\text{CO}_2$  при производстве электроэнергии, но для них характерны некоторые выбросы в течение всего жизненного цикла [4]. Исходя из этого, стоит отметить, что интенсивность выбросов  $\text{CO}_2$  необходимо оценивать за весь жизненный цикл электростанции.

Для рассматриваемых электростанций за реальные значения  $K_1$  будут приниматься интенсивности выбросов  $\text{CO}_2$  за весь жизненный цикл. Атомная электростанция за весь свой жизненный цикл «выбрасывает»  $\text{CO}_2$  в атмосферу в среднем  $4 \text{ г}\cdot\text{CO}_2/(\text{кВт}\cdot\text{ч})$ ; гидроэлектростанция с учетом использованных при строительстве материалов –  $8 \text{ г}\cdot\text{CO}_2/(\text{кВт}\cdot\text{ч})$ ; газовая ТЭС –  $105 \text{ г}\cdot\text{CO}_2/(\text{кВт}\cdot\text{ч})$ ; угольная ТЭС –  $228 \text{ г}\cdot\text{CO}_2/(\text{кВт}\cdot\text{ч})$ .

2. *Радиационное воздействие на окружающую среду*  $K_2$  – с точки зрения устойчивого развития крайне важно, чтобы объемы радиоактивных отходов (РО) были сведены к минимуму, и осуществлялась полная и стабильная утилизация. Радиоактивные отходы низкого уровня генерируются на большинстве объектах, задействованных в производстве ядерной энергии, но также являются побочным продуктом использования радиоактивных материалов в медицинской диагностике и лечении, биомедицинских и фармацевтических исследованиях и производстве. Радиоактивные отходы низкого уровня включают в себя широкий спектр отходов, – от короткоживущих радионуклидов с более высоким уровнем активности до долгоживущих при относительно низких уровнях активности. Радиоактивные отходы низкого уровня содержат около 90 % общего объема, но только 1 % от общей радиоактивности всех РО [4]. Отработавшее топливо и РО высокого уровня содержат продукты деления и трансурановые элементы, образующиеся в активной зоне реактора. Они имеют высокую радиоактивность и остаточное тепловыделение, что требует продолжительного охлаждения и хранения для уменьшения радиоактивности отдельных нуклидов до неопасных уровней. Отработавшее топливо и РО высокого уровня содержат более 95 % общей радиоактивности, образующейся в процессе производства ядерной энергии.

Выбросы АЭС на 99,9 % состоят из инертных радиоактивных газов (ИРГ). В процессе деления образуется около 20 радиоизотопов криптона и ксенона, из которых основной вклад в ИРГ вносят изотопы криптона  $^{88}\text{Kr}$  (период полураспада 2,8 ч) и ксенона  $^{133}\text{Xe}$  (5,3 сут.),  $^{135}\text{Xe}$  (9,2 ч), дающие различный вклад, в зависимости от типа реактора. На долю всех оставшихся радионуклидов (в основном –  $^{131}\text{I}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  и  $^3\text{H}$ ) приходится менее 1 %. Еще в меньшей степени наблюдаются выбросы небольшого количества продуктов коррозии реактора и первого контура и осколков деления ядер урана –  $^{51}\text{Cr}$ ,  $^{54}\text{Mg}$ ,  $^{95}\text{Nb}$ ,  $^{106}\text{Ru}$ ,  $^{144}\text{Ce}$ . Во время сжигания угля большая часть урана, тория и продуктов их распада выделяется из исходной матрицы угля и распределяется между газовой и твердой фракциями. Практически 100 % присутствующего радона переходит в газовую фазу и выходит с дымовыми газами [6].

В радиационном отношении гораздо более опасны тепловые электростанции, поскольку сжигаемые на них уголь, торф и газ содержат природные радионуклиды семейств урана и тория. Средние индивидуальные дозы облучения в районе расположения ТЭС мощностью 1 ГВт/год составляют 6...60 мкЗв/год, а от выбросов АЭС – 0,004... 0,130 мкЗв/год. Таким образом, АЭС при нормальной их эксплуатации являются экологически более чистыми, чем ТЭС [7].

Газообразное топливо представляет собой наиболее «чистое» органическое топливо, так как при его полном сгорании из токсичных веществ образуются только оксиды азота. При неполном сгорании в выбросах присутствует оксид углерода СО. Тепловые электростанции на природном газе значительно экологически чище угольных, мазутных и сланцевых [8].

Для оценки  $K_2$  используется десятибалльная шкала, где 0 – наилучшая оценка по данному критерию, то есть радиационное влияние на окружающую среду является минимальным, 10 – наихудшая оценка. Для угольных ТЭС дается наихудшая оценка в 10 баллов. Учитывая, что АЭС в условиях нормальной эксплуатации выбрасывают в атмосферу меньше радиоактивных веществ, чем угольные ТЭС, для АЭС дается оценка в 5 баллов. Для ТЭС, работающей на газе, и ГЭС – соответственно 2 и 1.

3. *Твердые отходы от производства электроэнергии  $K_3$* . Цель данного показателя – оценка количества нерадиационных твердых отходов от выработки электроэнергии. Это имеет важное последствие для развития энергетики и влияния на окружающую среду. Вес и объем отходов, образующихся при производстве ядерной энергетики, очень малы по сравнению с количеством отходов, образующихся при выработке электроэнергии на ископаемом топливе. Так, от выработки электроэнергии на АЭС мощностью 1000 МВт образуется около 300 м<sup>3</sup> отходов низкого и среднего уровня и около 30 т отработавшего топлива и РО высокого уровня в год. Для сравнения, угольная установка с аналогичной мощностью производит около 300 000 т золы в год, которая также включает радиоактивные материалы и тяжелые металлы [9]. Основными твердыми отходами, образующимися при выработке электроэнергии, является зола от сжигания угля. К твердым отходам также относятся обычные промышленные отходы, такие как металлолом, изоляционные материалы, защитная одежда, кабели и т.д. Атмосферные выбросы твердых частиц от различных топливных циклов, включая стадии добычи и производства электроэнергии для ядерного топливного цикла (**ЯТЦ**), – 0,4 г/(кВт·ч), ТЭС на угле – 0,9 г/(кВт·ч), ТЭС на природном газе – 0,14 г/(кВт·ч), ГЭС – 0,1 г/(кВт·ч) [10].

Для оценки  $K_3$  используются реальные значения атмосферных выбросов твердых частиц от соответствующих топливных циклов.

4. *Удельная площадь, за весь жизненный цикл электростанции  $K_4$ , м<sup>2</sup>/(ГВт)*. Данный критерий оценивает размер площади земли, занятой на единицу установленной мощности электростанции. Производство электроэнергии требует большую площадь земли, что может иметь важные экологические последствия. Объем земли, необходимый для поддержки определенного объема производства электроэнергии, может варьироваться на несколько порядков между технологиями. Принято оценивать воздействие на землю на основе всего жизненного цикла, который включает использование земельных ресурсов для разведки, добычи, производства, транспортировки, распределения и использования материалов [4].

С точки зрения устойчивого развития данный показатель играет важную роль, поскольку измеряет эффективность использования земли энергетическими цепочками. Во время рассмотрения угольных ТЭС стоит отметить, что угольно-топливный цикл влияет на структуру землепользования как прямо, так и косвенно на этапах добычи, обогащения и производства электроэнергии. Размер используемой земли варьируется в зависимости

сти от различных факторов. В общем случае для угольных ТЭС использование земли оценивается от 6...33 м<sup>2</sup>/ГВт. Учитывая также добычу угля, можно сказать, что использование земли за весь жизненный цикл угольных ТЭС составляет в среднем 330 м<sup>2</sup>/ГВт [11].

Использование земли для АЭС выше, чем для угольных электростанций, так как на АЭС присутствуют защитные барьеры сооружений, постоянные хранилища для отработавшего топлива и т.д. Оценку использования земли в течение всего ядерно-топливного цикла можно представить в виде суммы следующих основных этапов: добычи руды, переработки, обогащения, территории самой АЭС и утилизации отработавшего ядерного топлива следующим образом: добыча – 30 м<sup>2</sup>/ГВт; переработка – 1 м<sup>2</sup>/ГВт; обогащение – 2 м<sup>2</sup>/ГВт; электростанция – 46 м<sup>2</sup>/ГВт; утилизация топлива – 29 м<sup>2</sup>/ГВт [11].

Топливный цикл природного газа состоит из добычи (70 м<sup>2</sup>/ГВт); транспортировки (130 м<sup>2</sup>/ГВт) и хранения топлива (62 м<sup>2</sup>/ГВт) с последующей выработкой электроэнергии (4 м<sup>2</sup>/ГВт) [11].

Земля, необходимая для генерации гидроэлектроэнергии, значительно варьируется в зависимости от конкретных условий. Например, ГЭС с водохранилищами занимают значительно больше земельного участка, в то время, как построенные на реках – сравнительно небольшую площадь, так как они не нуждаются в резервуаре. Для сравнительной оценки учитывается среднее значение ГЭС с водохранилищами, удельная площадь – 4100 м<sup>2</sup>/ГВт [11].

При оценке  $K_4$  используются реальные значения используемой удельной площади за весь жизненный цикл для каждого типа электростанций.

*5. Использование воды в производстве электроэнергии  $K_5$ .* Поскольку энергетический сектор является основным потребителем воды и имеет тенденцию к росту по мере развития экономики, использование воды в нем вызывает особое беспокойство в отношении устойчивого развития. При рассмотрении использования воды важно различать водозабор и ее потребление. Водозабор представляет собой общее количество воды, забранной из рек, озер и других водоемов. Часть воды может быть возвращена в окружающую среду. Потребление воды, напротив, относится к количеству испаренной или потерянной по каким-либо причинам, которое невозможно вернуть в водоем.

Данный критерий измеряет общее водопотребление производства электроэнергии в электроэнергетической сети. Использование воды в энергетическом секторе связано с двумя основными процессами: охлаждением ТЭС и испарением из гидроэлектрических коллекторов. Выбросы воды на единицу электроэнергии, вырабатываемой на угольном топливе и АЭС, варьируются в пределах 70 000...450 000 л/(МВт·ч), по сравнению с 570 и 1100 л/(МВт·ч) для электростанций, работающих на природном газе. Требования к технической воде для ГЭС незначительны [12].

Для оценки  $K_5$  используются реальные значения использования технической воды на разных электростанциях. Так, для АЭС берется максимальное значение расхода воды на единицу выработанной электроэнергии 0,45 м<sup>3</sup>/(кВт·ч). Учитывая, что на угольных ТЭС расход технической воды

обычно в 1,7 раз меньше, чем на АЭС, то для угольных ТЭС берется значение  $0,26 \text{ м}^3/(\text{кВт}\cdot\text{ч})$ ; для тепловых электростанций, работающих на природном газе, –  $0,0011 \text{ (м}^3/\text{кВт}\cdot\text{ч)}$ . Для гидроэлектростанций, учитывая незначительные расходы технической воды, дается наименьшая оценка в  $0,00001 \text{ м}^3/(\text{кВт}\cdot\text{ч})$ .

### Составление таблицы эффективности и оценка альтернатив

После рассмотрения всех критериев и оценки значений для каждого варианта составляется таблица эффективности, в которой группируются значения по всем критериям (табл. 1).

Основываясь на предпочтениях страны и оценивая важности каждого критерия, для оценки альтернатив выбраны следующие весовые коэффициенты: интенсивность выбросов  $\text{CO}_2$  от производства энергии – 0,5; радиационное воздействие на окружающую среду – 0,1; твердые отходы от производства электроэнергии – 0,1; удельная площадь за весь жизненный цикл электростанции – 0,2; использование воды в производстве электроэнергии – 0,1. Так как проблема глобального потепления достаточно серьезная в наши дни, а углекислый газ  $\text{CO}_2$  – основной из газов, участвующих в развитии парникового эффекта, то критерию  $K_1$  дается самый высокий приоритет.

Таблица 1

#### Значение критериев для выбранных альтернатив

Критерий	АЭС	ТЭС		ГЭС
		угольная	газовая	
$K_1, \text{ г}\cdot\text{CO}_2/\text{кВт}\cdot\text{ч}$	4	228	105	8
$K_2$	5	10	2	1
$K_3, \text{ г}/\text{кВт}\cdot\text{ч}$	0,4	0,9	0,14	0,1
$K_4, \text{ м}^2/\text{ГВт}$	108	330	266	4100
$K_5, \text{ м}^3/\text{ГВт}$	0,45	0,26	0,0011	0,00001

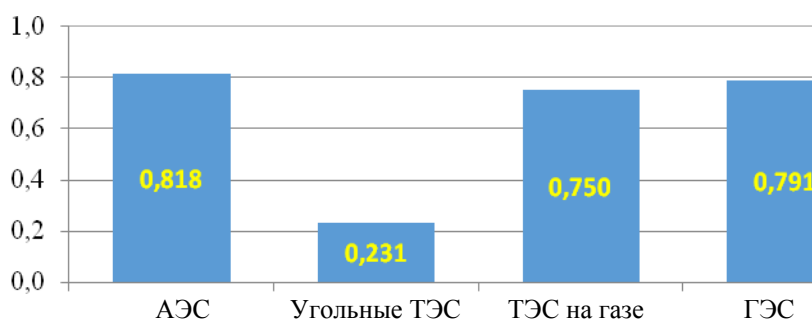
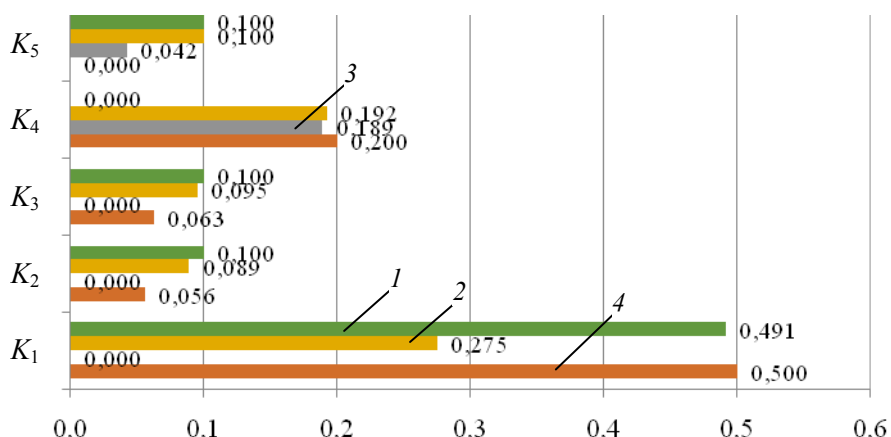


Рис. 1. Результаты исследований по всем критериям



**Рис. 2. Результаты исследований по каждому критерию отдельно:**  
 1 – ГЭС; 2 – ТЭС на газе; 3 – угольные ТЭС; 4 – АЭС

Результаты оценок экологического воздействия на окружающую среду АЭС, угольных и газовых ТЭС и ГЭС по всем рассматриваемым критериям и по каждому отдельно представлены соответственно на рис. 1 и 2.

### Заключение

Исследования показали, что атомные электростанции по экологическому воздействию на окружающую среду являются наилучшими из рассмотренных типов электростанций (0,818), что, в основном, обусловлено маленькими выбросами углекислого газа в атмосферу за весь жизненный цикл работы АЭС. Далее следуют гидроэлектростанции (0,791) и ТЭС, работающие на природном газе (0,750). На последнем месте находятся угольные ТЭС (0,231), которые имеют наихудшие показатели по нескольким критериям.

### Список литературы

1. Review on Multi-Criteria Decision Analysis Aid in Sustainable Energy Decision-Making / J.-J. Wang [et al.] // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2009. – Vol. 13. – P. 2263 – 2278.
2. Andrianov, A. Key Indicators for Innovative Nuclear Energy Systems as a Guidance and Tool to Access Sustainability of Innovations / A. Andrianov // Comparative Assessment of Hypothetical Innovative Nuclear Energy Systems Based on the Kind Methodology. – Obninsk, 2014. – 46 p.
3. Ларичев, О. И. Теория и методы принятия решений, а также хроника событий в волшебных странах / О. И. Ларичев. – М. : Логос, 2000. – 296 с.
4. Indicators for Nuclear Power Development // IAEA Nuclear Energy Series. – No. NG-T-4.5. IAEA, Vienna, 2015. – 93 p.
5. INPRO Methodology for Sustainability Assessment of Nuclear Energy Systems: Environmental Impact of Stressors // IAEA Nuclear Energy Series. – No. NG-T-3.15. IAEA, Vienna, 2016. – 94 p.



6. Атомная энергетика: за или против? Сравнительный анализ радиоактивного загрязнения, создаваемого АЭС и ТЭС, работающими на угле [Электронный ресурс] / В. А. Гордиенко [и др.]. – 17 с. – Режим доступа : [http://nuclphys.sinp.msu.ru/ecology/gordienko\\_2011.pdf](http://nuclphys.sinp.msu.ru/ecology/gordienko_2011.pdf) (дата обращения: 13.06.2018).
7. Александров, Ю. А. Основы радиационной экологии : учеб. пособие / Ю. А. Александров. – Йошкар-Ола: Изд-во Мар. гос. ун-та, 2007. – 268 с.
8. Федяева, О. А. Промышленная экология : конспект лекций / О. А. Федяева. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2007. – 145 с.
9. Australia's Uranium – Greenhouse Friendly Fuel for an Energy Hungry World. House of Representatives. Standing Committee on Industry and Resources. – The Parliament of the Commonwealth of Australia, Canberra, 2006. – 732 p. – Режим доступа : <https://www.aph.gov.au/binaries/house/committee/isr/uranium/report/fullreport.pdf> (дата обращения: 13.06.2018).
10. Шарапов, Р. В. Влияние атомной энергетики на экологическую безопасность регионов при строительстве АЭС / Р. В. Шарапов // Экологічна безпека. – 2007. – № 3 (7). – С. 81 – 84.
11. Fthenakis, V. Land Use and Electricity Generation: A Life-Cycle Analysis / V. Fthenakis, H. Ch. Kim // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – Elsevier, 2009. – Vol. 13. No. 6–7. – P. 1465 – 1474.
12. Torcellini, P. Consumptive Water Use for US Power Production / P. Torcellini, N. Long, R. Judkoff // NREL/TP-550-33905. National Renewable Energy Laboratory. – Golden, Colorado, 2003. – Режим доступа : <https://www.nrel.gov/docs/fy04osti/33905.pdf> (дата обращения: 13.06.2018).

#### References

1. Wang J.-J., Jing Y.-Y., Zhang Ch.-F., Zhao J.-H. Review on Multi-Criteria Decision Analysis Aid in Sustainable Energy Decision-Making, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, 2009, vol. 13, pp. 2263-2278.
2. Andrianov A. Key indicators for innovative nuclear energy systems as a guidance and tool to access sustainability of innovations, *Comparative assessment of hypothetical innovative nuclear energy systems based on the kind methodology*, Obninsk, 2014, 46 p.
3. Larichev O.I. *Teoriya i metody prinyatiya reshenij, a takzhe hronika sobytij v volshebnyh stranah* [Theory and methods of decision-making, as well as a chronicle of events in magical countries], Moscow: Logos, 2000, 296 p. (In Russ.)
4. Indicators for nuclear power development, *IAEA nuclear energy series*, no. NG-T-4.5, IAEA, Vienna, 2015, 93 p.
5. INPRO methodology for sustainability assessment of nuclear energy systems: environmental impact of stressors, *IAEA nuclear energy series*, no. NG-T-3.15. IAEA, Vienna, 2016, 94 p.
6. [http://nuclphys.sinp.msu.ru/ecology/gordienko\\_2011.pdf](http://nuclphys.sinp.msu.ru/ecology/gordienko_2011.pdf) (accessed 13 June 2018).
7. Aleksandrov Yu.A. *Osnovy radiacionnoj ehkologii* [Fundamentals of Radiation Ecology], Yoshkar-Ola: Izdatel'stvo Mar. gos. universiteta, 2007. – 268 p. (In Russ.)
8. Fedyaeva O.A. *Promyshlennaya ehkologiya: konspekt lekcij* [Industrial ecology: lecture notes], Omsk: Izdatel'stvo OmGTU, 2007, 145 p. (In Russ.)
9. <https://www.aph.gov.au/binaries/house/committee/isr/uranium/report/fullreport.pdf> (accessed 13 June 2018).
10. Sharapov R.V. [Influence of nuclear power engineering on the ecological safety of regions in the construction of nuclear power plants], *Ekologichna bezpeka* [Environmental Safety], 2007, no. 3 (7), pp. 81-84. (In Russ.)

11. Fthenakis V., Kim H.Ch. Land use and electricity generation: A life-cycle analysis, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, 2009, vol. 13, no. 6-7, pp. 1465-1474.

12. <https://www.nrel.gov/docs/fy04osti/33905.pdf> accessed 13 June 2018).

---

### **Assessing the Impact of Different Types Power Plants on the Environment**

**A. A. Gevorgyan, O. S. Avagyan**

*National Polytechnic University of Armenia (NPUA),  
Yerevan, Republic of Armenia*

**Keywords:** multi-attribute value theory (MAVT); environment; criteria for evaluation; emission level; power plants.

**Abstract.** The ecological impact of nuclear, thermal (coal and natural gas) and hydroelectric power plants on the environment is studied. The main principles of multi-criteria decision-making, in particular, a one-attribute function and the evaluation criteria are used.

---

© А. А. Геворгян, О. С. Авагян, 2018